

Moderne Fertigungsmethoden im Brückenbau am Beispiel der Bogenherstellung über die Wilde Gera

Die Firma **ADAM HÖRNIG BAUGESELLSCHAFT GMBH & CO.** hat die Schwerpunkte Hochbau, Schlüsselfertigbau, Ingenieurbau und Spezialtiefbau. Besonders spezialisiert und bundesweit bekannt ist sie vor allem in der Fachdisziplin Brückenbau. Auf diesem Gebiet schöpft sie aus der Erfahrung von über 300 ausgeführten Brückenbauwerken.

Brücken stellen innerhalb des Ingenieurbaus eine besondere Gattung dar. Sie sind nicht nur für den außenstehenden Betrachter spektakulär, sondern bilden für den Ingenieur, den Entwurfsverfasser, den Planer und den bauleitenden Ingenieur eine besondere Herausforderung. Arbeitsvorbereitung und Wahl der richtigen Baumethoden sind bei diesen Bauwerken oft eng verknüpft mit den statischen und konstruktiven Verhältnissen und Erfordernissen. Oft sogar haben wirtschaftliche Überlegungen, die allgemein immer Vorrang besitzen, vor technischen Notwendigkeiten das Nachsehen.

Der immerwährende Wettbewerb in unserer Branche zwingt also zur Optimierung der tradierten Baumethoden und zur Entwicklung neuer, kostengünstiger Bauverfahren. Das geht Hand in Hand mit der Weiterentwicklung und Erforschung der Baugeräte und Werkstoffe, die wir heute einsetzen. Mit den modernen Werkstoffen und Baumethoden lassen sich eben größere Stützweiten überbrücken – man denke hier an den Spannbeton oder an den hochfesten Beton zur Aufnahme größerer Normalkräfte im Hochhausbau.

Brücken sind die Kür des Ingenieurbaus. Sie sollen nicht nur technischen, sondern auch hohen ästhetischen Ansprüchen genügen. Daher müssen ihre Proportionen, ihre Formen sowie die verwendeten Baumaterialien eine Einheit bilden.

Die Zwänge, denen die Herstellung einer Brücke der Randbedingungen wegen meistens unterliegt, beeinflussen oftmals die Herstellungsmethode.

Beispiel: Muldebrücke bei Dessau

Die 450 m lange Brücke führt durch ein naturgeschütztes Biosphärenreservat. Daher waren die Eingriffe in die Natur beim Bau des Brückenüberbaus so gering wie möglich zu halten. Bei einer Pfeilerhöhe von 4 bis 5 Metern wurde das aufwendigere Taktschiebeverfahren ausgeführt. In einem 37 m langen Taktkeller wurden im Wochentakt klassisch (d.h. intern) vorgespannte Abschnitte hergestellt.

Um den einwöchigen Takt einzuhalten, wurde die Bewehrung im so genannten Bewehrungskeller vorgeflochten und zeitgleich mit dem Hinausschieben eines fertig betonierten und vorgespannten Taktes in die Feldfabrik eingezogen. Die Bauzeit des Überbaus konnte daher auf 3 ½ Monate verkürzt werden.

Die externe Vorspannung wurde in der Endlage der Brücke eingebaut. Diese Sekundärvorspannung deckt den Endzustand unter dem Lastfall Verkehr ab.

Beispiel: Steinatalbrücke bei Zella-Mehlis

Beim Bau der Steinatalbrücke bei Zella-Mehlis wurde eine „Vorschub-Rüstung“ für die Herstellung des Überbaus eingesetzt, d. h., es gab keine stationäre Feldfabrik wie beim vorherigen Beispiel, sondern ein Gerüst, das in Längsrichtung der Brücke ähnlich einem Rechenschieber bewegt wird und Abschnitte in Längen von ca. einer Stützweite (bis 45 m) fertigt.



Dieses Vorschubgerüst setzen wir gerne bei geringeren Überbaumgewichten, also in der Regel bei Plattenbalkenbrücken ein, während wir das Taktschieben vorzugsweise bei Hohlkasten-Querschnitten zur Anwendung bringen.

Bogenherstellung der Talbrücke „Wilde Gera“ im Freivorbau

Die 552 m lange Talbrücke sollte ursprünglich als Balkenbrücke mit einem einteiligen 29 m breiten Stahlverbund-Überbau und einer maximalen Stützweite von 114 m ausgeführt werden. ADAM HÖRNIG entwickelte in der Angebotsphase zusammen mit dem für die Ausführungsstatik zuständigen Ingenieurbüro KÖHLER & SEITZ einen Sonderentwurf, der die Bogenlösung zum Inhalt hatte.

Der ausschließlich schlaffbewehrte Bogen hat eine Spannweite von 252 m. Mit Hilfe des Bogens konnten die Stützweiten der aufgeständerten Brücke auf 42 m abgemindert werden, so dass der Überbau wesentlich einfacher und wirtschaftlicher herzustellen ist.

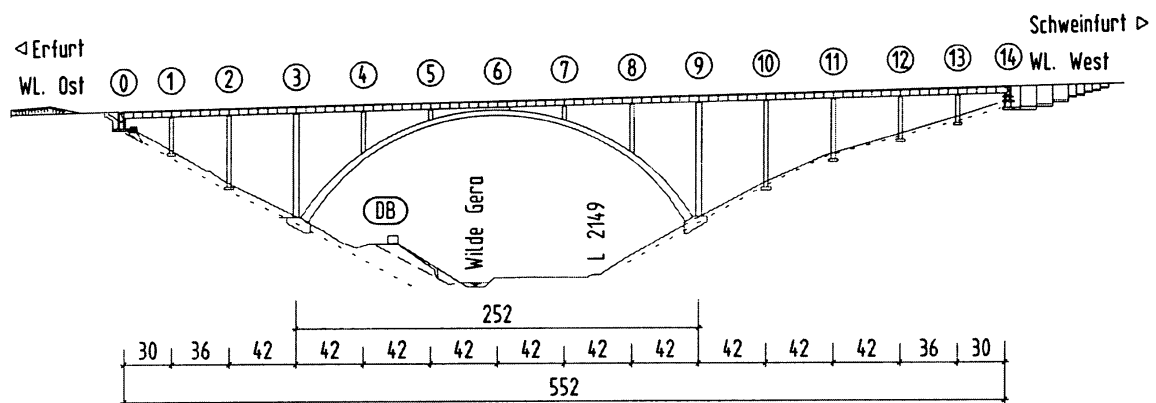
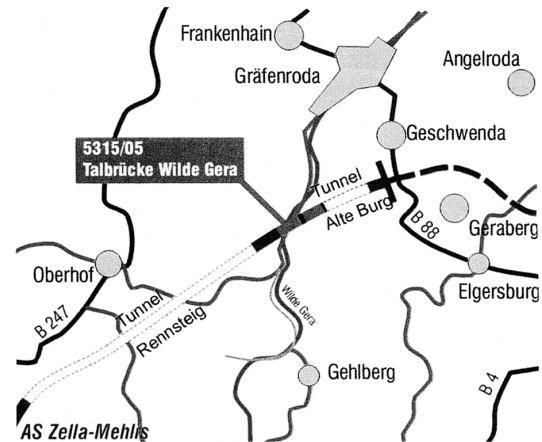


Bild 2 Sondervorschlag Bogenbrücke (Längsschnitt)

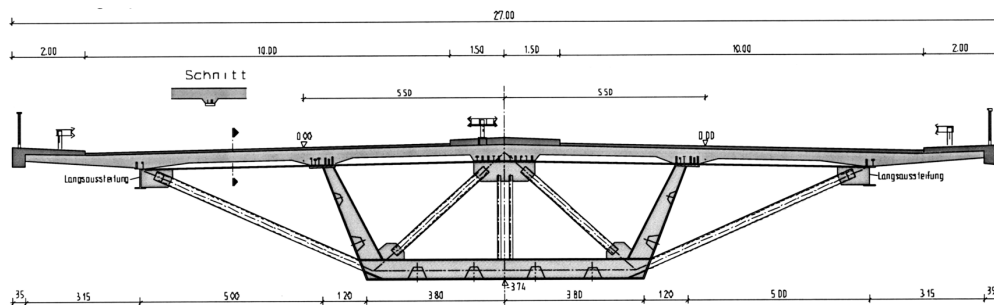
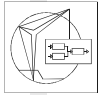


Bild 3 Sondervorschlag Bogenbrücke (Regelquerschnitt)

Schon bei der Kalkulation spielt der spätere Bauablauf, also der zeitliche und gerätetechnische Aufwand, eine entscheidende Rolle. Die Einsatzzeiten von Mensch und Gerät bestimmen im Wesentlichen die Kosten. Die Materialkosten müssen aus den Bemessungsgrößen des Endzustandes unter Verkehr und den Bauzuständen ermittelt werden.

So sucht man eine Optimierung aus den Zwängen der Statik, des einzusetzenden Gerätes, des Verfahrens, konstruktiver Erfordernisse, material logistischer Notwendigkeiten und der Erfahrung. In der Kalkulationsphase muss schnell und mutig entschieden werden. Später, in der Phase der Arbeitsvorbereitung, werden die Detailprobleme gelöst.



Bogenherstellung im Freivorbau

Als Bogenquerschnitt wurde ein 10,3 m breiter, zweizelliger Hohlkasten mit Wandstärken von 40 cm bei den Außenstegen, 35 cm bei der oberen und unteren Bogenscheibe und 30 cm am Innensteg gewählt. Die Bauhöhe beträgt am Kämpfer 5,5 m und verringert sich zum Scheitel um 2,2 m auf 3,3 m. Ein Massivbogen wie z.B. bei der Kylltalbrücke in der Nähe von Bitburg würde weniger Probleme beim Bewehren und Betonieren ergeben, durch sein höheres Gewicht aber größere Abspannmaßnahmen erfordern.

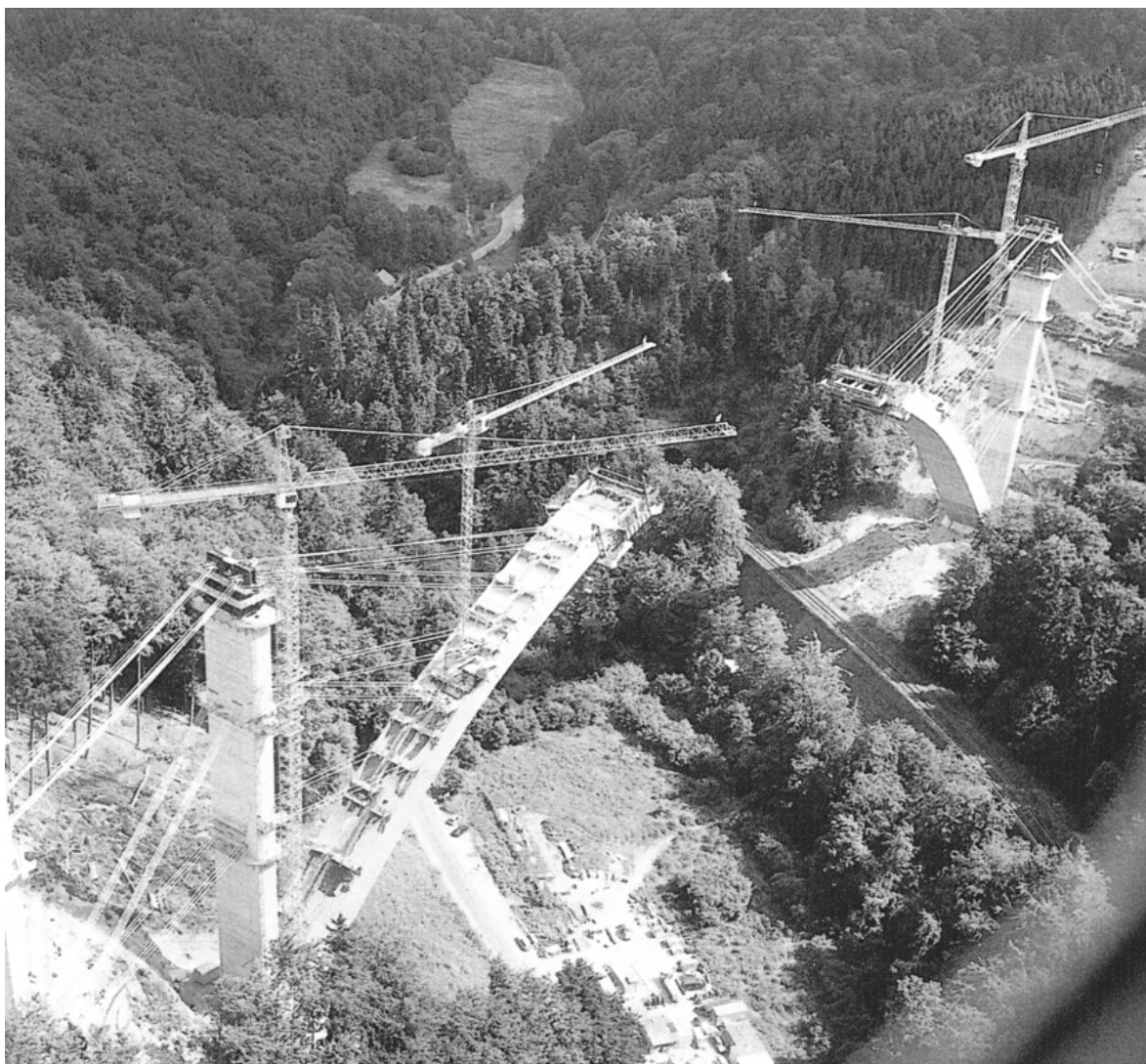


Bild 4 Bauzustand der Bogenkonstruktion im Juli 1999



Die Bogenform wurde im Zuge der Ausführungsplanung statisch optimiert, um die Biegemomente im Endzustand klein zu halten. Aus dem Eigengewicht des Bogens würde eine parabelförmige Bogenform als Stützlinie entstehen. Durch die Eintragung konzentrierter Lasten an den Bogenpfeilern entstehen Störstellen, die Knicke bei der Stützlinie erzeugen. Diese wurden ausgerundet, so dass optisch eine Bogenform ähnlich einer Parabel entstand.

Jede Bogenhälfte wurde im Freivorbau von den Kämpfern aus mit 24 Takten hergestellt (Bild 5). In einem Schlusstakt wurde der Bogen geschlossen. Der Freivorbau wurde parallel von beiden Seiten ausgeführt. Die Abschnittslängen betrugen 6 m. Die einzelnen Takte waren gerade, da die erforderliche Krümmung bei jedem Takt unterschiedlich wäre. Daraus ergab sich eine polygonzugartige Bogenform, die aber nicht auffällt. Um den Freivorbauwagen montieren zu können, wurde der erste Takt mit 7 m Länge auf Lehrgerüst erstellt.

Die Herstellung der einzelnen Bogentakte erfolgte mittels Vorbauwagen, der die Schalung und die Betonierlasten auf den zurückliegenden Takt überträgt. Mittels Abspannungen werden die größer werdenden Auskragungen über die Kämpferpfeilerachsen hinaus nach hinten zurückgehängt. Auf einen ursprünglich jeweils unter Achse 4 und 8 vorgesehenen Hilfspfeiler unter dem Bogen wurde verzichtet, da die Sicherheit gegen Böschungsbruch des Bahndammes unter Achse 4 nicht nachgewiesen werden konnte.

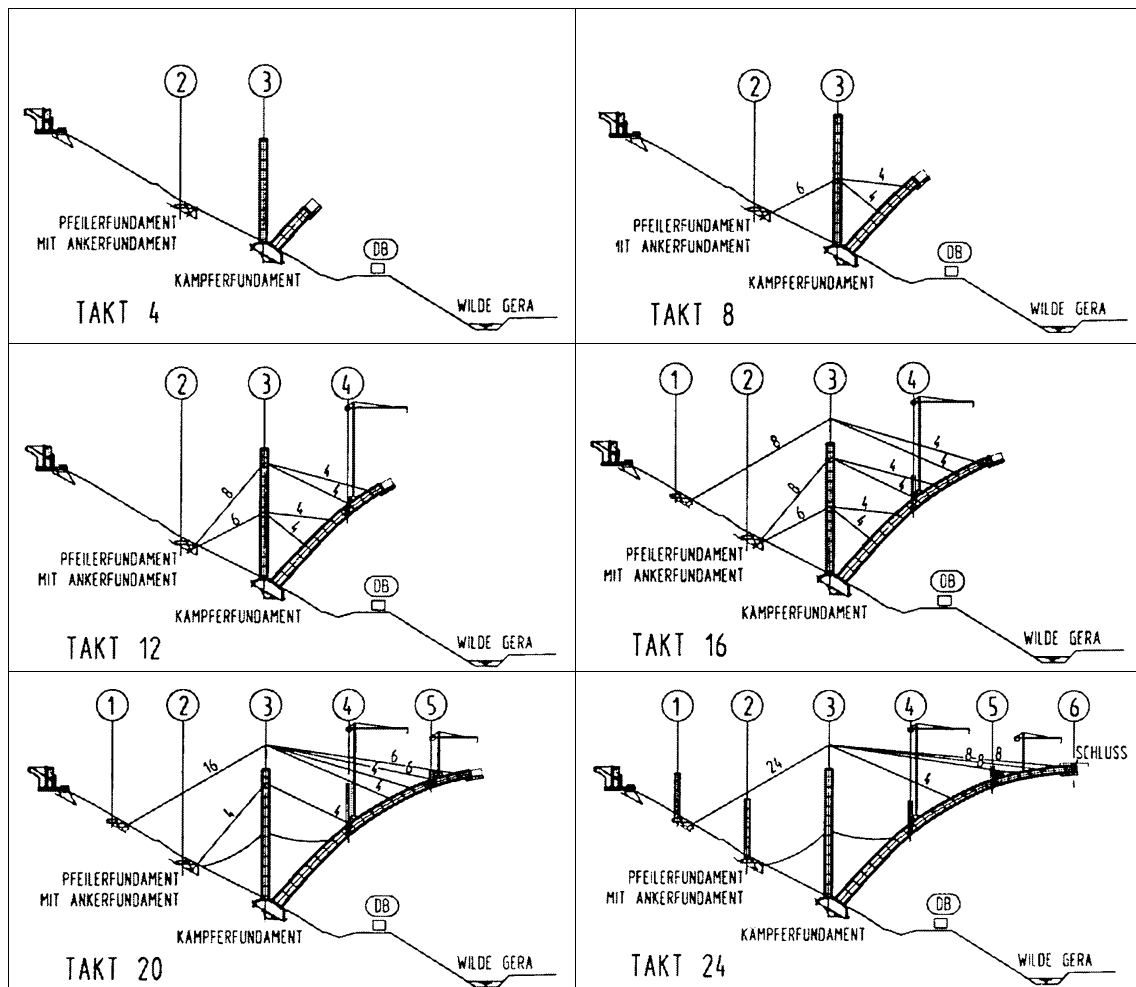
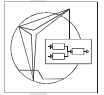


Bild 5 Ausgewählte Bauzustands-Systeme der Bogenabspannung (Ostseite)



Für die Abspannung wurden mit temporärem Korrosionsschutz versehene Litzensträngglieder vom Typ VT 12-150 der Fa. VBF Ratingen mit einer zulässigen Kraft von 1752 kN verwendet. Sie wurden nur bis max. etwa 1500 kN beansprucht.

Ab dem jeweils 13. Takt waren zusätzliche Hilfspylone auf den Kämpferpfeilern notwendig, um eine ausreichende Neigung der Abspannung zu erzielen.

Im Bereich der später herzustellenden Bogenpfeiler Achse 4, 5, 7 und 8 wurden für die Herstellung des jeweils folgenden Bogenabschnitts im Bauzustand Krane aufgebaut, die bei der statischen Berechnung und insbesondere bei der Verformungsberechnung zu berücksichtigen waren.

Die Einleitung der Rückhängekräfte der Bogenhälften wird mit Felsankern in den Achsen 1 + 2 (Ost) sowie 10 + 11 (West) realisiert. Hierzu wurden innerhalb des Fundamentes Übergreifungsstöße zwischen der Abspannung und den Felsankern ausgebildet. Die Abspannung wurde über Koppelanker angeschlossen.

Für die Erdanker wurden DYWIDAG AS 6815 mit zul. $P = 2009$ kN verwendet. Alle Felsanker wurden über Spannblöcke mit der 1,25-fachen Kraft einer Abnahmeprüfung unterzogen und dann auf die 0,7-fache Last abgelassen.

Erst in einem zweiten Schritt wurden sie auf die 1,0-fache Kraft gespannt, um eine möglichst gleichmäßige Ausnutzung aller Anker zu erhalten. Zur Eignungsprüfung wurden drei Anker pro Hangseite mit der 1,5-fachen Kraft getestet.

Nach der Herstellung der Takte 124 und 224 im frei auskragenden, abgespannten Zustand erfolgte vor dem Betonieren des Schlusstückes ein vorgezogener Bogenschluss. Dafür wurde ein Stahl Druckstück eingesetzt und durch geringfügiges Ablassen der Abspannung so auf Druck beansprucht, dass die Beanspruchungen aus Temperaturschwankungen während des Erhärtens des Schlusstückes aufgenommen wurden. Solche Temperaturschwankungen oder auch einseitiges Erwärmen des Bogens würden die beiden Bogenhälften um einige cm gegeneinander verschieben, was man dem im Erhärtungsprozess stehenden Beton nicht zumuten kann. Anschließend wurde die Abspannung bis auf einige Seile, die für die Herstellung der Fahrbahnplatte des Überbaus notwendig sind, rückgebaut.

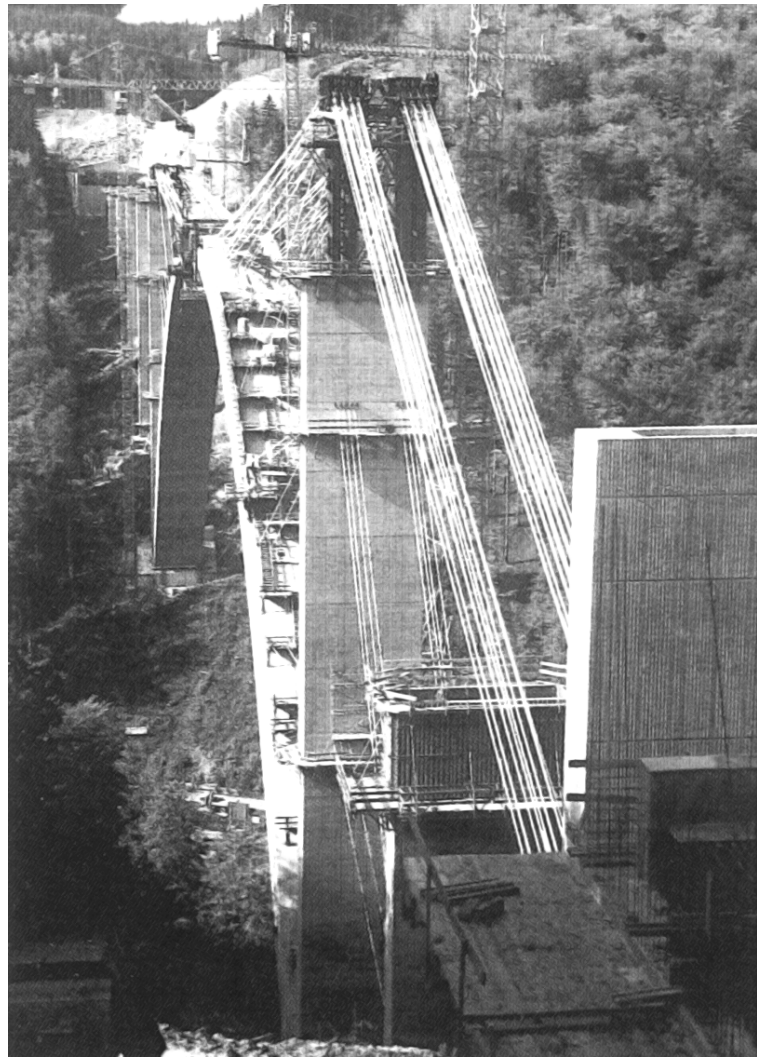


Bild 6 Bogenabspannung am Pylon Achse 3

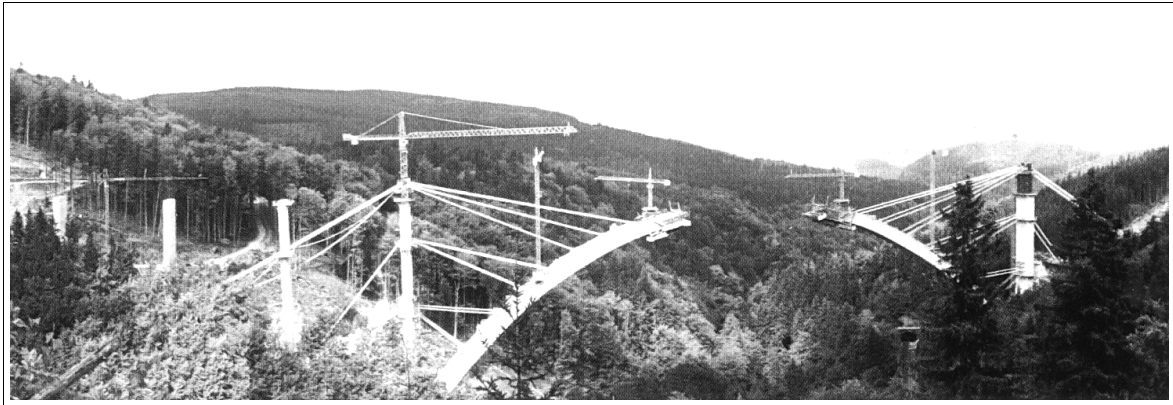


Bild 7 Baufortschritt September 1999

Mess- und Spannprogramm

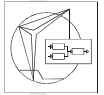
Ein detailliertes Messprogramm protokollierte in jeder Bauphase alle Daten, die auf die Verformungen einen signifikanten Einfluss haben, z. B.:

- die Temperaturen in den Abspannseilen und in den Betonbauteilen,
- die Schiefstellung der Kämpferpfeiler und Hilfspylone mittels Pendel,
- die Höhenlage und Verdrehung der Kämpferfundamente und Erdankerblöcke.

Die Seiltemperaturen wurden pro Takt gemessen und bei der Einstellung des neuen Taktes bzw. Freivorbauwagens berücksichtigt. Die Betontemperaturen hatten i.d.R. nur geringe Schwankungsbreiten und somit wenig Einfluss auf die Verformungen. Die Ist-Lage der bereits gebauten Takte wurde früh gleich nach Sonnenaufgang gemessen. Damit war gewährleistet, dass nicht durch Sonneneinstrahlung eine ungleichmäßige Temperaturbeeinflussung vorlag. Auf mögliche Abweichungen von der Soll-Lage konnte dann beim darauffolgenden Takt unmittelbar reagiert werden. Kleine Abweichungen bis 2 cm wurden im direkt folgenden Takt ausgeglichen, mittlere Abweichungen nach einem festgelegten Schema auf mehrere Takte verteilt. Bei Abweichungen über 6 cm war der Tragwerksplaner zu informieren, damit die weitere Vorgehensweise untersucht werden konnte. Dieser Fall trat nur einmal auf und war auf einen Messfehler zurückzuführen.

Die Messpunkte wurden höhen- und lagemäßig genau auf die Verbindungslinie der Absteckpunkte des oberen Randes der Taktfuge eingebaut. Die Höhenaufnahmen wurden an 3 in Richtungen der Taktfuge angeordneten Messpunkten durchgeführt, um die horizontale Lage und die Verformungen in Querrichtung zu kontrollieren. Das Messprogramm geht jedoch über die einzelnen Bogentakte hinaus und protokolliert auch die an anderen wesentlichen Teilen des Bauwerkes auftretenden Einflussgrößen, insbesondere in Bereichen großer Abspannkräfte an Rückhängefundamenten, Bogen, Kämpferpfeilern und Pylonen. Auffälligkeiten waren ebenfalls umgehend dem Tragwerksplaner mitzuteilen.

Für jeden Takt wurde ein umfangreiches Spannprotokoll für die Abspann-, Rückhänge- und Erdanker-ebene aufgestellt. Es beinhaltet neben der Spannweisung neu einzubauender Abspannkabel auch ein eventuell erforderliches Nachspannen oder Ablassen bereits eingebauter Spannkabel. Zumindest wurde die Kraft einiger bereits eingebauter Kabel mittels Presse überprüft, da eine Beeinflussung durch das Anspannen neuer Kabel entsteht. Damit war auch eine Überprüfung der Rechenannahmen möglich. Die Dehnwegangaben setzten sich aus der Spannsteelverlängerung infolge Spannkraft und den Systemverformungen von Bogen und Kämpferpfeiler zusammen. Der Durchhang der Spannseile wurde berücksichtigt. All diese Maßnahmen waren erforderlich, damit wir sprichwörtlich den Bogen nicht überspannen konnten.



Trotz des Freivorbaus auf jeweils 126 m Auskragung waren die Abweichungen der gemessenen gegenüber den berechneten Verformungen in der Regel kleiner als 3 cm, die Abweichungen in den Spannkraften betrugen normalerweise weniger als 3 %. Beim Bogenschluss waren beide Bogenhälften vertikal um 4 mm versetzt, was im Schlusstakt ausgeglichen wurde.

Solch eine genaue Bauproduktion ist nur durch das optimale Zusammenspiel von Baustelle und Konstruktionsbüro möglich. Durch ständigen Informations- und Datenaustausch ist es gewährleistet, auf Einflüsse oder Störungen unverzüglich reagieren zu können.

Zum Schluss sei nochmals betont: Die Arbeitsvorbereitung beginnt im Grunde schon mit der Kalkulation, setzt sich fort in der Detailplanung der Arbeitsmethoden. Stichpunkte sind: Auswahl der Geräte, Art der Schalung, Ablaufplanung, Personaleinsatz, Schichtbetrieb.

Aber auch Probleme der Sicherheit und Unfallverhütung sind bei einem solch waghalsigen Unterfangen wie der Bogenherstellung der „Wilden Gera“ von größter Bedeutung.